

**Е.Е. Полупанова, А.С. Олейник**

### **СОСТАВЛЕНИЕ РАЦИОНА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

*Данная работа посвящена решению задачи составления рациона питания с помощью генетического алгоритма. Задача составления рациона питания является задачей комбинаторной оптимизации. Основная цель решения задачи составления рациона питания заключается в нахождении оптимального плана питания в соответствии с особыми потребностями человека. В статье приводится постановка задачи составления рациона питания и её математическая модель. Так как задача составления рациона питания является NP-трудной и входные данные могут потребовать больших вычислительных затрат для точного алгоритма, разумно применить эвристический подход в решении данной проблемы. В статье подробно освещены основные используемые понятия теории генетических алгоритмов, последовательность шагов разработанного генетического алгоритма составления рациона питания, блок-схема генетического алгоритма. Для исследования генетического алгоритма составления рациона питания, было разработано клиент-серверное приложение под управлением операционной системы Android. Результатом работы генетического алгоритма составления рациона питания является найденное меню на семь дней, которое выводится и хранится в приложении. Клиент-серверная архитектура приложения была выбрана с целью экономии ресурсов телефона пользователя. В статье приводятся описание пользовательского интерфейса приложения на платформе Android с возможностью регулировки различных параметров алгоритма. Также в статье проведен анализ эффективности работы полученного алгоритма: оценка точности и времени работы разработанного генетического алгоритма при различных конфигурациях. По результатам экспериментов удалось определить оптимальные значения настраиваемых параметров генетического алгоритма (число хромосом, количество итераций, вероятность мутации), позволяющих получать достаточно хорошие результаты за приемлемое время. Характерными чертами реализованного генетического алгоритма составления рациона питания является относительно небольшое время работы, даже при больших входных данных. Кроме того, разработанное решение имеет высокую экономическую ценность ввиду применения алгоритма на практике, например, в работе врачей-диетологов, фитнес-тренеров, а также для простых пользователей с избыточным весом.*

*Задача о составлении рациона питания; генетический алгоритм; метод генетического поиска; эвристический подход; эволюционный алгоритм; клиент-серверное приложение; Android-приложение.*

**E.E. Polupanova, A.S. Oleinik**

### **COMPILING A DIET BASED ON A GENETIC ALGORITHM**

*This work is devoted to solving the problem of compiling a diet using a genetic algorithm. The task of compiling a diet is a combinatorial optimization problem. The main purpose of solving the problem of compiling a diet is to find a suitable combination of dishes to perform the distribution in accordance with the special needs of a person. The article provides a statement of compiling a diet problem and its mathematical model. Since the task of compiling a diet is NP-hard and the input data may require large computational costs for an accurate algorithm, it is reasonable to apply a heuristic approach to solving this problem. The article highlights in detail the main concepts of the theory of genetic algorithms, the sequence of steps of the developed genetic algorithm for compiling the diet, the flowchart of the genetic algorithm. To research the genetic algorithm of compiling a diet there was developed a client-server application running the Android operating system. The result of the genetic algorithm for compiling a diet is the seven days menu, which is displayed and stored in the application. The client-server architecture of the application was chosen in order to save the user's phone resources. The description of the Android-application*

*user interface with the ability to adjust various parameters of the algorithm is given in the article. Also the analysis of the obtained algorithm efficiency is highlighted: an estimation of the accuracy and operating time of the developed genetic algorithm with different configurations of the algorithm. Based on the results of the experiments, it was possible to determine the optimal values of the configurable parameters of the genetic algorithm (the number of chromosomes, the number of iterations, the probability of mutation), allowing to obtain good results in an acceptable time. The characteristic features of the implemented genetic algorithm of compiling a diet is a relatively short operating time, even in a large input data. In addition, the developed solution has a high economic value due to the application of the algorithm in practice, for example, in the work of nutritionists, fitness trainers, as well as for ordinary overweight users.*

*The task of compiling a diet; genetic algorithm; genetic search method; heuristic approach; evolutionary algorithm; client-server application; Android application.*

**Введение.** В настоящее время около 60% населения экономически развитых стран имеет избыточную массу тела, 25–30% – ожирение. Аналогичная тенденция отмечается и у детей: избыточная масса тела отмечается у 15–25%. Основной причиной появления лишнего веса является неправильные пищевые привычки и несбалансированный выбор продуктов. Ввиду этого разработка алгоритма составления рациона питания является перспективной темой для исследования. А так как данная задача является комбинаторной и NP-трудной, логично для её решения использовать эвристический алгоритм [1–4].

Генетические алгоритмы является весьма актуальным и известным направлением в области оптимизации и моделирования. При помощи генетических алгоритмов решаются множество задач на графах, задачи назначения и распределения объектов, задачи упаковки, многие NP-трудные проблемы [2, 3]. Генетический алгоритм относится к классу эвристических алгоритмов, то есть алгоритмов, для которых сходимость к глобальному решению не доказана, но экспериментально установлено, что в большинстве случаев они дают хорошее решение [2].

В данной статье рассматривается генетический алгоритм составления рациона питания, приводятся экспериментальные исследования разработанного алгоритма.

**Математическая постановка задачи.** Задача составления рациона питания заключается в том, что, имея базу данных продуктов, в которой указаны их характеристики и составляющие, найти подходящую комбинацию для выполнения распределения в соответствии с особыми потребностями человека [5–10]. Математически, данную задачу можно сформулировать следующим образом: имеются характеристики пользователя, а именно рост, желаемый вес, возраст, пол и коэффициент его физических нагрузок [11, 12]. Коэффициент физических нагрузок отображает размер физической активности пользователя, который непосредственно влияет на необходимый ему объём калорий. Наиболее часто встречающаяся градация коэффициента физических нагрузок [13–15], изображенная на рис. 1.

Минимальные физические нагрузки (сидячая работа)	1,2-1,3
Небольшая дневная активность или легки упражнения 1-3 раза в неделю	1,4-1,5
Тренировки в фитнес-зале 4-5 раз в неделю или работа средней тяжести	1,6-1,7
Интенсивные тренировки 4-5 раз в неделю	1,8-1,9
Ежедневные тренировки	2-2,1
Ежедневные интенсивные тренировки или обычные тренировки 2 раза в день	2,2-2,3
Интенсивные тренировки 2 раза в день или тяжёлая физическая работа	2,4-2,5

*Рис. 1. Возможные значения коэффициента физических нагрузок*

Имея эти данные, на основе модифицированного уравнения Харриса-Бенедикта высчитывается дневная норма калорий пользователя [16–20]. Формулы её расчёта (1) и (2) представлены ниже.

$$\text{НК}_m = ((10 * m) + (6.25 * h) - (5 * a) + 5) * k, \quad (1)$$

$$\text{НК}_ж = ((10 * m) + (6.25 * h) - (5 * a) - 161) * k, \quad (2)$$

где  $\text{НК}_m$  – норма калорий для мужчин;

$\text{НК}_ж$  – норма калорий для женщин;

$m$  – желаемый вес в килограммах;

$h$  – рост в сантиметрах;

$a$  – возраст;

$k$  – коэффициент физической нагрузки.

Используя эти данные, алгоритм на выходе выдаст меню на 7 дней, общее количество калорий, потребляемое каждый день, максимально приближенно к дневной норме калорий пользователя. Для оценки качества решения используется результирующая функция (3)

$$F_p = |7 * \text{НК}_п - \sum_{i=1}^7 (K_z + K_o + K_y)|, \quad (3)$$

где  $F_p$  – результирующая функция всего решения;

$\text{НК}_п$  – дневная норма калорий пользователя;

$K_z$  – сумма калорий, употребляемых на завтрак;

$K_o$  – сумма калорий, употребляемых на обед;

$K_y$  – сумма калорий, употребляемых на ужин.

Для поиска оптимального решения задачи составления рациона питания необходимо минимизировать представленную выше целевую функцию.

Решение задачи составления рациона питания генетическим алгоритмом. Определим основные понятия генетического алгоритма.

Популяция – множество элементов, каждый из которых представляет собой одну хромосому или особь, т.е. популяция состоит из возможных альтернативных решений.

Хромосома – популяционная единица определенной длины, которая представляет собой совокупность генов и является возможным решением задачи.

Родитель – хромосома, потомки которой используются для создания новой популяции.

Селекция – процесс, посредством которого хромосомы (альтернативные решения), имеющие более высокое значение целевой функции (с «лучшими признаками») получают большую возможность для воспроизводства потомком, чем худшие хромосомы.

Целевая функция – функция, определяющая характеристику хромосомы (особи), которая называется приспособленностью. Функция должна удовлетворять следующему условию: чем «лучше» хромосома (особь), тем выше значение целевой функции (приспособленности).

Мутация – конструкция, позволяющая на основе преобразования родительской хромосомы, или ее части, создавать хромосому потомка.

Кроссинговер (скрещивание) – процесс обмена генами хромосом (альтернативных решений) с целью создания новых [2].

Приведем последовательность шагов генетического алгоритма для решения задачи составления рациона питания.

1) Формируется первая популяция генетического алгоритма, где каждая особь (хромосома) представляет собой модель, в которой хранится рацион питания на неделю, разделённый по дням, общее количество калорий решения, а также значение фитнес функции, а вместе, они образует популяцию решений.

2) Хромосомы (решения) оцениваются целевой функцией, вычисляется их приспособленность.

3) Для выбора родительских особей используется турнирный способ. Он заключается в том, что из популяции выбирается две группы особей, по 5 особей в каждой. Родителями становятся особи с наилучшими значениями результирующей функции по 1 из каждой группы. Ниже, на рис. 2, представлен пример возможной турнирной схемы [8].

4) Для реализации оператора скрещивания используется двухточечный кроссинговер. Результатом скрещивания являются новые хромосомы, которые сохраняются в списке для новой популяции.

5) После выполнения оператора кроссинговера отрабатывает оператор мутации. В ходе его работы есть шанс мутации особи, который задаётся пользователем алгоритма. Особи с низким значением фитнес функции мутируют значительно сильнее.

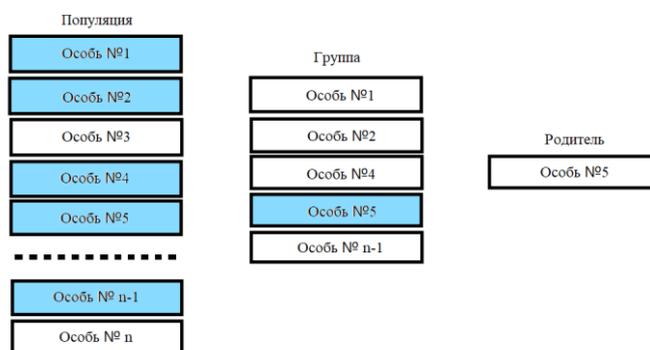


Рис. 2. Пример турнирной схемы

6) Хромосомы (решения) в новой популяции оцениваются целевой функцией, вычисляется их приспособленность, а самое лучшее решение запоминается отдельно.

7) Шаги алгоритма повторяются, начиная с шага 3, или происходит остановка алгоритма по заданному условию – было создано заданное количество поколений.

На рис. 3 изображена блок-схема разработанного генетического алгоритма.



Рис. 3. Блок-схема генетического алгоритма составления рациона питания

Для исследования генетического алгоритма составления рациона питания, было разработано клиент-серверное приложение под операционную систему Android. Результатом работы является найденное меню на 7 дней, которое выводится и хранится в приложении. Клиент-серверная архитектура приложения выбрана с целью экономии ресурсов телефона пользователя.

Основные вычисления рациона питания, а именно работа генетического алгоритма происходят на сервере. На нём также хранится база данных с таблицей блюд, в которых указаны основные их характеристики, часть которой изображена на рис. 4.

	id	name	calorage	protein	fat	carbohydrate
▶	1	Абрикосовый джем	209.556	0.459	0.055	51.491
	2	Варенье грушевое	214.600	0.100	0.100	56.800
	3	Варенье из абрикосов по-венгерски	241.500	0.300	0.040	64.000
	4	Варенье из айвы	221.800	0.100	0.100	58.700
	5	Варенье из арбузных корок	219.900	0.200	0.030	58.400
	6	Варенье из барбариса	203.700	0.000	0.000	54.300
	7	Варенье из брусники	160.800	0.400	0.300	41.900
	8	Варенье из брусники	244.300	0.200	0.100	64.600
	9	Варенье из брусники и яблок	247.100	0.200	0.100	65.400
	10	Варенье из брусники по-белорусски	191.100	0.200	0.100	50.400
	11	Варенье из брусники с корицей и г...	243.700	0.200	0.100	64.400
	12	Варенье из вишни без косточек	219.400	0.300	0.070	58.000
	13	Варенье из водяники	217.800	0.060	0.050	57.900
	14	Варенье из голубики и малины	229.100	0.200	0.100	60.500

Рис. 4. Информация о блюдах

Созданное приложение поддерживает регистрацию пользователей, которые после авторизации в приложении должны заполнить свои персональные характеристики, необходимые для работы генетического алгоритма составления рациона питания. На рис. 5 можно увидеть, как выглядит окно для их ввода.

Параметры пользователя:

Рост (в см) \_\_\_\_\_

Желаемый вес (в кг) \_\_\_\_\_

Возраст \_\_\_\_\_

Пол Мужской ▾

Коэффициент физической нагрузки \_\_\_\_\_

Параметры генетического алгоритма:

Размер популяции 200

Вероятность мутации хромосомы 20

Количество итераций алгоритма 200

СОСТАВИТЬ РАЦИОН

Рис. 5. Окно ввода параметров

После отправления запроса на сервер о составлении рациона и получении ответа, в приложении будет отображаться меню из блюд на 7 дней, пример которого можно увидеть на рис. 6. Для каждого блюда приведены его калорийность на 100 грамм, количество содержащихся в нём жиров, белков и углеводов, а также необходимый размер порции. При нажатии на блюдо отобразится окно с описанием ингредиентов и способом приготовления.

Завтрак			
Манная каша на клюквенном соке 200 г.			
112.7 кКал на 100г			
Белки: 1.9г.	Жиры: 4.6г.	Углеводы: 17.1г.	
Гренки острые 100 г.			
269.3 кКал на 100г			
Белки: 15.4г.	Жиры: 13.2г.	Углеводы: 23.6г.	
Какао с молоком 200 г.			
102.8 кКал на 100г			
Белки: 2.9г.	Жиры: 2.9г.	Углеводы: 17.2г.	
Обед			
Борщ 300 г.			
57.7 кКал на 100г			
Белки: 3.8г.	Жиры: 2.9г.	Углеводы: 4.3г.	
Котлеты по-гречески 300 г.			
178.1 кКал на 100г			
Белки: 6.4г.	Жиры: 6.7г.	Углеводы: 24.6г.	
Салат "Весна" 200 г.			
90.3 кКал на 100г			
Белки: 3.5г.	Жиры: 7.4г.	Углеводы: 3.1г.	
Ужин			
Салат из редиски со метаной 200 г.			

Рис. 6. Пример найденного алгоритмом рациона на день

**Анализ эффективности алгоритма.** Было проведено исследование зависимости значения найденного значения целевой функции от количества хромосом. График, отображающий эту зависимость, изображен на рис. 7. Можно заключить, что в промежутке от 50 до 200 хромосом значение целевой функции найденного решения улучшается со значительной скоростью, а вот в промежутке от 200 до 350 хромосом скорость улучшения фитнес функции крайне маленькая. Отсюда можно сделать вывод, что оптимально использовать популяцию размерности 200-250 хромосом.



Рис. 7. График зависимости значения целевой функции найденного решения от количества хромосом

Также исследовалась зависимость значения целевой функции найденного решения от количества итераций. График, демонстрирующий эту зависимость, представлен на рис. 8. Значительный прирост значений целевой функции найденного решения получается при количестве итераций, равном 250. Дальнейшее улучшение хоть и имеется, но обладает значительно меньшими темпами.

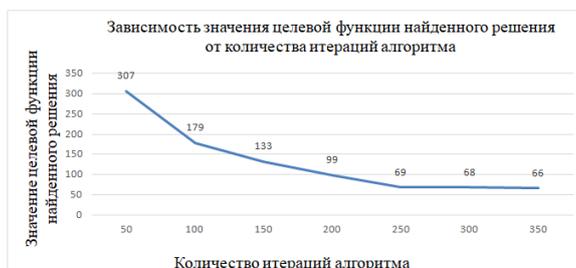


Рис. 8. График зависимости значения целевой функции от количества итераций генетического алгоритма

Дополнительно была изучена зависимость значения целевой функции от величины шанса мутации особи. График данной зависимости продемонстрирован на рис. 9. Наилучший шанс мутации особи в генетическом алгоритме равен 20-25%. Дальнейшее увеличение шанса мутации приводит только к ухудшению значения фитнес функции найденного решения.

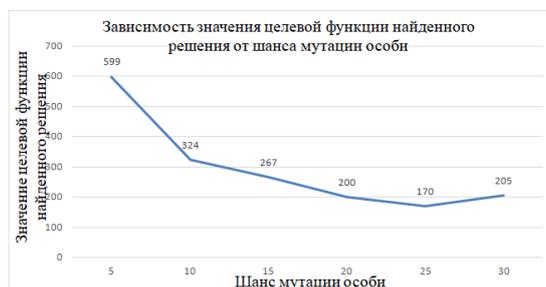


Рис. 9. График зависимости значения найденной целевой функции от шанса мутации особи

Также была установлена зависимость времени работы алгоритма от количества хромосом в генетическом алгоритме, которая отображена на рис. 10. Из графика на рис. 10 можно сделать вывод, что временная сложность алгоритма близка к линейной –  $O(n)$ .



Рис. 10. Зависимость времени работы алгоритма от количества хромосом

Из графиков, представленных на рис. 7-10, можно сделать вывод, что для получения достаточно хорошего значения за небольшое время в качестве параметров генетического алгоритма стоит устанавливать 200 хромосом, 100-120 итераций, а шанс мутации особей в популяции брать равным 20-25%.

**Заключение.** В работе рассматривается проблема составления правильного, сбалансированного рациона питания. Приведены теоретические сведения о решаемой задаче, а также математическая постановка. В качестве метода решения данной задачи предлагается использовать генетический алгоритм. Ввиду того, что он является эвристическим алгоритмом, нахождение оптимального рациона питания не будет занимать очень много времени, в отличие от точного алгоритма.

На основе разработанного генетического алгоритма составления рациона питания реализовано мобильное клиент-серверное Android - приложение, а также проведён анализ результатов его работы, который выявил эффективность разработанного алгоритма.

Характерными чертами реализованного генетического алгоритма составления рациона питания является относительно небольшое время работы, даже при больших входных данных, а также удобный для пользователя вывод полученных результатов.

В ходе экспериментов было установлено, что алгоритм обладает достаточно хорошей масштабируемостью, что очень важно для алгоритмов, работающих с большими объёмами информации. При большом размере популяции, генерируется больше решений за один шаг алгоритма – тем самым увеличивается вероятность нахождения максимума. Помимо этого, максимальное (одно из максимальных) значений целевой функции обычно находится в первой трети всех итераций – это означает, что, повышая размер популяции, можно уменьшить число итераций, что в свою очередь стабилизирует время работы алгоритма без потери качества результата.

В перспективе можно адаптировать предложенную реализацию генетического алгоритма составления рациона питания под возможности многоядерных процессоров для сокращения времени работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Карпенко А.П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учеб. пособие. – 2-е изд. – М.: Изд.во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 446 с.
2. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы / под ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физмалит, 2006. – 320 с.
3. *Саймон Д.* Алгоритмы эволюционной оптимизации. – М.: Изд-во: ДМК Пресс, 2020. – 1002 с.
4. *Xu X., Rong H., Trovati M. et al.* CS-PSO: chaotic particle swarm optimization algorithm for solving combinatorial optimization problems // *Soft Computing*. – 2018. – Vol. 22. – DOI: 10.1007/s00500-016-2383-8.
5. *Syahputra M.F., Felicia V., Rahmat R.F., Budiarto R.* Scheduling Diet for Diabetes Mellitus Patients using Genetic Algorithm // *Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Computing and Applied Informatics, Medan, Indonesia, 2016*. – Vol. 801. – DOI: 10.1088/1742-6596/801/1/012033.
6. *Catal'an-Salgado E., Zagal-Flores R., Torres-Fernandez Y., and Paz-Nieves A.* Diet Generator Using Genetic Algorithms // *Research in Computing Science, Mexico, 2014*. – Vol. 75. – DOI 10.13053/rics-75-1-7.
7. *Clark A.B., Coates A.M., Davidson Z.E., Bonham M.P.* Dietary Patterns under the Influence of Rotational Shift Work Schedules: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Advances in Nutrition*. – 2023. – Vol. 14. – DOI: 10.1016/j.advnut.2023.01.006.
8. *St-Pierre N.R., Cobanov B.* A Model to Determine the Optimal Sampling Schedule of Diet Components // *Journal of Dairy Science*. – 2007. – Vol. 90. – DOI: doi.org/10.3168/jds.2006-727.

9. *Rahman R., Ramli R., Jamari Z., Ku Ruhana Ku-Mahamud.* Evolutionary Algorithm with Roulette-Tournament Selection for Solving Aquaculture Diet Formulation // *Mathematical Problems in Engineering.* – 2016. – Vol. 2016. – DOI: 10.1155/2016/3672758.
10. *Sowah R.A., Bampoe-Addo A.A., Armo S.K., Saalia F.K., Gatsi F., Sarkodie-Mensah B.* Design and Development of Diabetes Management System Using Machine Learning // *International Journal of Telemedicine and Applications.* – 2020. – Vol. 2020. – DOI: 10.1155/2020/8870141.
11. *Cao Z., Sasaki A., Oh T., Miyatake N., Tsushita K., Higuchi M., Sasaki S., Tabata I.* Association between dietary intake of micronutrients and cardiorespiratory fitness in Japanese men // *Journal of Nutritional Science.* – 2012. – Vol. 1. – DOI: 10.1017/jns.2012.16.
12. *Hoill Jung, Kyungyong Chung.* Knowledge-based dietary nutrition recommendation for obese management // *Information Technology and Management.* – 2016. – Vol. 17. – DOI: 10.1007/s10799-015-0218-4.
13. *Thompson F.E., Subar A.F.* Chapter 1 - Dietary Assessment Methodology, Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease. – 4th ed. United States. 2017. – DOI: 10.1016/B978-0-12-802928-2.00001-1.
14. *Zuo L., He F., Tinsley G.M., Pannell B.K., Ward E., Arciero P.J.* Comparison of High-Protein, Intermittent Fasting Low-Calorie Diet and Heart Healthy Diet for Vascular Health of the Obese // *Clinical and Translational Physiology.* – 2016. – Vol. 7. – DOI: 10.3389/fphys.2016.00350.
15. *Ho M., Ho J.W.C., Fong D.Y.T., Lee C.F., Macfarlane D.J., Cerin E., Lee A.M., Leung S., Chan W.Y.Y., Leung I.P.F., Lam S.H.S., Chu N., Taylor A.J., Cheng K.* Effects of dietary and physical activity interventions on generic and cancer-specific health-related quality of life, anxiety, and depression in colorectal cancer survivors: a randomized controlled trial // *Journal of Cancer Survivorship.* – 2020. – Vol. 14. – DOI: 10.1007/s11764-020-00864-0.
16. *Hall K.D., Ayuketah A., Brychta R., Walter P.J., Yang S., Zhou M.* Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake // *Cell Metabolism.* – 2019. – Vol. 30. – DOI: 10.1016/j.cmet.2019.05.008.
17. *Saslow L.R., Kim S., Daubenmier J.J., Moskowitz J.T., Phinney S.D., Goldman V., Murphy E.J., Cox R.M., Moran P., Hecht F.M.* A Randomized Pilot Trial of a Moderate Carbohydrate Diet Compared to a Very Low Carbohydrate Diet in Overweight or Obese Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus or Prediabetes, Research Article, Plos One, 2014. – DOI: 10.1371/journal.pone.0091027.
18. *Hermawan H., Hutomo R.C., Sufiatul M., Prihatini M.* Menu Design For Pregnant Women Diet For Stunting Prevention Using Genetic Algorithm // *International Journal of Electrical Engineering and Information Technology.* – 2021. – Vol. 4. – DOI: 10.29138/ijeit.v4i1.1253.
19. *Gumustekin S., Senel T., Ali Cengiz M.* A Comparative Study on Bayesian Optimization Algorithm for Nutrition Problem // *Journal of Food and Nutrition Research.* – 2014. – Vol. 2. – DOI: 10.12691/jfnr-2-12-15.
20. *Sufahani S., Mohamad M., Roslan R., Kamardan M.G., Che-Him N., Ali M., Khalid K., Nazri E.M., Ahmad A.* Applied Mathematical Optimization Technique on Menu Scheduling for Boarding School Student Using Delete-Reshuffle-Reoptimize Algorithm // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2017. – Vol. 995. – DOI: 10.1088/1742-6596/995/1/012002.

## REFERENCES

1. *Karpenko A.P.* Sovremennyye algoritmy poiskovoy optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy: ucheb. posobie [Modern search optimization algorithms. Nature-inspired algorithms; tutorial]. 2nd ed. Moscow: Izd.vo MGTU im. N.E. Baumana, 2017, 446 p.
2. *Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M.* Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms], ed. by V.M. Kureychika. 2nd ed. Moscow: Fizmalit, 2006, 320 p.
3. *Saymon D.* Algoritmy evolyutsionnoy optimizatsii [Evolutionary optimization algorithms]. Moscow: Izd-vo: DMK Press, 2020, 1002 p.
4. *Xu X., Rong H., Trovati M. et al.* CS-PSO: chaotic particle swarm optimization algorithm for solving combinatorial optimization problems, *Soft Computing*, 2018, Vol. 22. DOI: 10.1007/s00500-016-2383-8.
5. *Syahputra M.F., Felicia V., Rahmat R.F., Budiarto R.* Scheduling Diet for Diabetes Mellitus Patients using Genetic Algorithm, *Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Computing and Applied Informatics, Medan, Indonesia, 2016*, Vol. 801. DOI: 10.1088/1742-6596/801/1/012033.

6. *Catal'an-Salgado E., Zagal-Flores R., Torres-Fernandez Y., and Paz-Nieves A.* Diet Generator Using Genetic Algorithms, *Research in Computing Science, Mexico*, 2014, Vol. 75. DOI 10.13053/rcs-75-1-7.
7. *Clark A.B., Coates A.M., Davidson Z.E., Bonham M.P.* Dietary Patterns under the Influence of Rotational Shift Work Schedules: A Systematic Review and Meta-Analysis, *Advances in Nutrition*, 2023, Vol. 14. DOI: 10.1016/j.advnut.2023.01.006.
8. *St-Pierre N.R., Cobanov B.* A Model to Determine the Optimal Sampling Schedule of Diet Components, *Journal of Dairy Science*, 2007, Vol. 90. DOI: doi.org/10.3168/jds.2006-727.
9. *Rahman R., Ramli R., Jamari Z., Ku Ruhana Ku-Mahamud.* Evolutionary Algorithm with Roulette-Tournament Selection for Solving Aquaculture Diet Formulation, *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, Vol. 2016. DOI: 10.1155/2016/3672758.
10. *Sowah R.A., Bampoe-Addo A.A., Armoo S.K., Saalia F.K., Gatsi F., Sarkodie-Mensah B.* Design and Development of Diabetes Management System Using Machine Learning, *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2020, Vol. 2020. DOI: 10.1155/2020/8870141.
11. *Cao Z., Sasaki A., Oh T., Miyatake N., Tsushita K., Higuchi M., Sasaki S., Tabata I.* Association between dietary intake of micronutrients and cardiorespiratory fitness in Japanese men // *Journal of Nutritional Science*. – 2012. – Vol. 1. – DOI: 10.1017/jns.2012.16.
12. *Hoill Jung, Kyungyong Chung.* Knowledge-based dietary nutrition recommendation for obese management, *Information Technology and Management*, 2016, Vol. 17. DOI: 10.1007/s10799-015-0218-4.
13. *Thompson F.E., Subar A.F.* Chapter 1 - Dietary Assessment Methodology, *Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease*. 4th ed. United States. 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-802928-2.00001-1.
14. *Zuo L., He F., Tinsley G.M., Pannell B.K., Ward E., Arciero P.J.* Comparison of High-Protein, Intermittent Fasting Low-Calorie Diet and Heart Healthy Diet for Vascular Health of the Obese, *Clinical and Translational Physiology*, 2016, Vol. 7. DOI: 10.3389/fphys.2016.00350.
15. *Ho M., Ho J.W.C., Fong D.Y.T., Lee C.F., Macfarlane D.J., Cerin E., Lee A.M., Leung S., Chan W.Y.Y., Leung I.P.F., Lam S.H.S., Chu N., Taylor A.J., Cheng K.* Effects of dietary and physical activity interventions on generic and cancer-specific health-related quality of life, anxiety, and depression in colorectal cancer survivors: a randomized controlled trial, *Journal of Cancer Survivorship*, 2020, Vol. 14. DOI: 10.1007/s11764-020-00864-0.
16. *Hall K.D., Ayuketah A., Brychta R., Walter P.J., Yang S., Zhou M.* Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake, *Cell Metabolism*, 2019, Vol. 30. DOI: 10.1016/j.cmet.2019.05.008.
17. *Saslow L.R., Kim S., Daubenmier J.J., Moskowitz J.T., Phinney S.D., Goldman V., Murphy E.J., Cox R.M., Moran P., Hecht F.M.* A Randomized Pilot Trial of a Moderate Carbohydrate Diet Compared to a Very Low Carbohydrate Diet in Overweight or Obese Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus or Prediabetes, *Research Article, Plos One*, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0091027.
18. *Hermawan H., Hutomo R.C., Suftatul M., Prihatini M.* Menu Design For Pregnant Women Diet For Stunting Prevention Using Genetic Algorithm, *International Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 2021, Vol. 4. DOI: 10.29138/ijeit.v4i1.1253.
19. *Gumustekin S., Senel T., Ali Cengiz M.* A Comparative Study on Bayesian Optimization Algorithm for Nutrition Problem, *Journal of Food and Nutrition Research*, 2014, Vol. 2. DOI: 10.12691/jfnr-2-12-15.
20. *Sufahani S., Mohamad M., Roslan R., Kamardan M.G., Che-Him N., Ali M., Khalid K., Nazri E.M., Ahmad A.* Applied Mathematical Optimization Technique on Menu Scheduling for Boarding School Student Using Delete-Reshuffle-Reoptimize Algorithm, *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, Vol. 995. DOI: 10.1088/1742-6596/995/1/012002.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Н. Марков.

**Полупанова Елена Евгеньевна** – Кубанский государственный университет; e-mail: jjenka@mail.ru; г. Краснодар, Россия; тел.: +79284013301; кафедра вычислительных технологий; к.т.н.; доцент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-1132>.

**Олейник Александр Сергеевич** – e-mail: wastocryter@mail.ru; тел.: +89186725060; кафедра вычислительных технологий; магистрант.

**Polupanova Elena Evgenievna** – Kuban State University; e-mail: jienka@mail.ru; Krasnodar, Russia; phone: +79284013301, the department of computational technologies; cand. of eng. sc.; associate professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-1132>.

**Oleynik Alexander Sergeevich** – e-mail: wastocryter@mail.ru; phone: +89186725060, the department of computational technologies; master's degree student.

УДК 621.396.96

DOI 10.18522/2311-3103-2023-3-96-107

**К.Е. Румянцев, П.Д. Миронова****ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ СИНХРОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА СМЕЖНОЙ ПАРЫ СЕГМЕНТОВ С МАКСИМАЛЬНЫМ СУММАРНЫМ ОТСЧЁТОМ**

*Предложен алгоритм обнаружения синхросигналов на основе выбора смежной пары сегментов с максимальным суммарным отсчётом. Указанный алгоритм учитывает недостатки альтернативного алгоритма обнаружения синхросигнала на основе сравнения суммы отсчётов со смежной пары сегментов с пороговым уровнем, состоящие в необходимости знания уровня фонового и шумового воздействия, который определяет пороговый уровень и вероятность ошибочного обнаружения сигнальной пары сегментов. Исследована зависимость вероятности ошибки обнаружения синхроимпульса от среднего числа сигнальных фотонов в синхроимпульсе при различных значениях числа сегментов во временном кадре. Так, вероятность ошибочного обнаружения синхроимпульса в течение кадра значительно уменьшается по мере роста среднего числа фотонов в синхроимпульсе. Например, при увеличении среднего числа сигнальных фотонов в синхроимпульсе с 1 до 5 вероятность ошибки обнаружения синхроимпульса снижается в 37 раз. Необходимо отметить слабое влияние числа пар сегментов на вероятность ошибочного обнаружения, что указывает на слабое влияние импульсов темнового тока на вероятностные характеристики предложенного алгоритма обнаружения синхросигналов. Получены аналитические выражения для точного и экспресс-расчёта вероятностных характеристик обнаружения, учитывающие вероятность нахождения синхроимпульса на границе двух смежных сегментов в связи с равенством длительностей синхроимпульса и временного сегмента. Результаты расчёта по точным выражениям вероятности обнаружения синхроимпульса показали, что при отношении сигнал/шум равном 10 и выше влиянием шумовых импульсов на вероятность обнаружения синхроимпульса можно пренебречь. Отмечено, вероятность обнаружения будет тем больше, чем больше число регистрируемых событий, или, другими словами, чем больше сумма средних чисел сигнальных фотонов и импульсов темнового тока. Расчёт вероятности обнаружения синхроимпульса по упрощённым выражениям показывает незначительное отклонение от расчётов по точным формулам, которое не превышает 5,3 %, причём расчёт по приближённым выражениям даёт заниженный результат. Полученные приближённые аналитические выражения могут применяться для экспресс-расчёта вероятности обнаружения синхроимпульса в паре сегментов.*

*Квантовое распределение ключа; синхронизация; максимальный суммарный отсчёт; вероятностные характеристики.*

**К.Е. Rumyantsev, P.D. Mironova****PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF THE SYNC DETECTION ALGORITHM BASED ON THE SELECTION OF AN ADJACENT PAIR OF SEGMENTS WITH THE MAXIMUM TOTAL COUNT**

*An algorithm for detecting sync signals based on the selection of an adjacent pair of segments with the maximum total count is proposed. This algorithm takes into account the shortcomings of an alternative algorithm for detecting a sync signal based on comparing the sum of samples from an adjacent pair of segments with a threshold level, consisting in the need to know the*